

Mejora de la impermeabilización de puentes existentes. Experiencias prácticas y algunas reflexiones

Waterproofing improvement in existing bridges Practical experiences and some reflections

Héctor Sánchez Martínez^{*, a}, Mario Martín Aguilera^{*, b} y Tomás Ripa Alonso^{*, c}

^a Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. LRA Infrastructures Consulting. Ingeniero de estructuras. hectorsanchez@lraingenieria.es

^b Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. LRA Infrastructures Consulting. Ingeniero de estructuras. mariomartin@lraingenieria.es

^c Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. LRA Infrastructures Consulting. Socio-Director. tomasripa@lraingenieria.es

RESUMEN

La mejora de la impermeabilización de puentes existentes constituye una de las actuaciones más necesarias en materia de conservación de estructuras. Dada su importancia, esta ponencia estudia los sistemas de impermeabilización de puentes que más se emplean en la actualidad. De cada sistema, se analizan las características, su nivel de prestaciones, la compatibilidad con otros materiales y su idoneidad de ejecución. A partir de este análisis, se exponen ejemplos prácticos de sistemas ejecutados, incidiendo en los detalles a tener en cuenta en su puesta en obra. De esta manera, se pretende definir pautas de mejora en el diseño y puesta en servicio de los sistemas de impermeabilización en puentes existentes.

ABSTRACT

Waterproofing improvement in existing bridges is one of the most necessary operation in respect to structures maintenance. Because of this, this article studies the most used waterproofing system nowadays. For each system, its characteristics, quality, compatibility with other materials and its suitability for use are analysed. Based on this study, practical examples about waterproofing systems are shown, with an emphasis on the details to be taken into account in their implementation. Therefore, it is intended to determine guidelines for improving the design and implementation of waterproofing systems on existing bridges.

PALABRAS CLAVE: Rehabilitación, estructuras, impermeabilización, experiencia.

KEYWORDS: Rehabilitation, structures, waterproofing, experience.

1. Estudio de la problemática

El principal reto que en la actualidad afronta la ingeniería civil pasa por realizar una adecuada conservación de las infraestructuras existentes, en aras de mantener la funcionalidad que satisfacen.

Dentro de las infraestructuras existentes, particularmente los puentes constituyen una de

las infraestructuras más importantes pues permiten salvar en altura orografías complejas y otras infraestructuras que discurren inferiormente. Ello hace que resulte fundamental realizar un seguimiento del estado de conservación de los puentes existentes para

garantizar las condiciones de seguridad estructural y funcionalidad que exigen.

Siguiendo esta premisa, las inspecciones realizadas en las estructuras permiten identificar los deterioros que presentan y ejecutar a posteriori aquellas actuaciones de reparación que mejoren el estado de conservación de las estructuras, alargando así su vida útil.

La amplia experiencia en inspección de estructuras confirma que una de las patologías con afección a la durabilidad que más se identifican en los puentes existentes es el desarrollo de filtraciones a través del tablero por una inadecuada impermeabilización del mismo.

El desarrollo continuo de estas filtraciones genera deterioros con afección a la durabilidad de la estructura al propiciar procesos de degradación del hormigón y corrosión de las armaduras. Si ante esta situación no se actúa, estos deterioros que afectan a la durabilidad pueden derivar en una afección a la seguridad estructural.

En líneas generales, las filtraciones por la inadecuada impermeabilización del tablero se han observado tanto en estructuras antiguas como en estructuras medianamente actuales, por diferentes motivos.

Por un lado, los sistemas de impermeabilización identificados en puentes de cierta antigüedad se caracterizan por ser de bajas prestaciones y con la vida útil agotada, debido al escaso avance en materia de impermeabilización de la época en la que fueron instalados.

En otros casos de puentes moderadamente antiguos se ha detectado incluso la ausencia del propio sistema de impermeabilización sobre el tablero, pudiendo deberse a un error de proyecto, apoyándose en la falsa premisa de que el pavimento asfáltico es impermeable e incluso que el hormigón del tablero también lo es. También, la ausencia de impermeabilización en un tablero puede deberse a un error de ejecución o incluso a la realización del fresado de la calzada que soporta propiciando su desaparición en fase de servicio.

Por otro lado, en los últimos tiempos han ido apareciendo nuevos sistemas de impermeabilización de mejores prestaciones. Es por ello que la mayor parte de las patologías detectadas en los sistemas de impermeabilización de puentes medianamente actuales, se deben principalmente a defectos de ejecución, y no a las bajas prestaciones del sistema de impermeabilización.

Así pues, una de las actuaciones en materia de conservación de estructuras que más se ejecutan en la actualidad es la mejora de la impermeabilización del tablero en puentes existentes.

De esta manera, en la presente ponencia se estudian los sistemas de impermeabilización directa de tableros, en conjunción con sistemas complementarios que impermeabilizan otros elementos particulares de un puente que quedan expuestos a la acción directa del agua. Todo ello se realiza desde un punto de vista práctico, exponiendo ejemplos de aplicaciones de cada sistema de impermeabilización en casos concretos.

Además de ello, con objeto de definir una serie de parámetros (vida útil, estanqueidad, rugosidad del soporte, etc.) que constituyan una referencia para tipificar los sistemas de impermeabilización, se está participando en grupos de trabajo de la ATC (Asociación Técnica de Carreteras). Así, se pretende aportar una herramienta eficaz a los proyectistas para la selección de los sistemas de impermeabilización más adecuados en cada caso.

2. Sistemas de impermeabilización del tablero

A continuación, se recogen los sistemas de impermeabilización más empleados en tableros de puentes comentando los aspectos prácticos de su aplicación. En primer lugar, se describen las actuaciones previas más usuales a realizar para garantizar una adecuada aplicación del

sistema de impermeabilización. Seguidamente, se detallan los aspectos prácticos a tener en cuenta en la aplicación de los distintos sistemas de impermeabilización.

2.1 Actuaciones previas

El soporte que recibe un sistema de impermeabilización debe ser completamente estable. Siguiendo este objetivo, para aplicar un sistema de impermeabilización en un tablero existente resulta necesario como primera operación descubrir la cara superior de la losa, mediante fresado del pavimento existente. De esta manera, se consigue una superficie estable como elemento soporte de partida.

Tras el fresado del pavimento, resulta fundamental comprobar las condiciones de rugosidad y limpieza de la cara superior de la losa. En este sentido, en ocasiones, se han observado en la superficie restos de riego de imprimación y aglomerado adheridos a la losa que no se han eliminado por el fresado. En otros casos, se han identificado láminas de impermeabilización del sistema existente sobre el tablero, que por su composición y adherencia a la losa tampoco resulta viable su retirada directa mediante el fresado. Un ejemplo de ello, se observó en las *obras de rehabilitación del puente de la Paz (Madrid)*, tal y como se aprecia en la Figura 1.



Figura 1. Lámina de impermeabilización al descubierto tras el fresado del pavimento (Asistencia técnica de las obras de rehabilitación del puente de la Paz (Madrid); noviembre de 2017)

En general para estos casos se efectúa una limpieza manual con cepillado y el empleo del martillo picador, y como complemento si esta primera limpieza no resulta efectiva, se puede ejecutar un hidrosabado de la superficie con

agua a elevada presión para su eliminación total (Ver Figura 2).

Por otro lado, si con el fresado se produce la rotura de las barras de acero que componen la armadura superior de la losa, por el reducido recubrimiento de las mismas, se puede acometer su reposición mediante solape convencional o por soldeo de las barras que se ven afectadas y posterior regularización puntual mediante mortero de reparación estructural R4 (Ver Figura 3)



Figura 2. Trabajos de hidrosabado en la losa (Asistencia técnica de las obras de rehabilitación del paso superior situado en el P.K. 45+300 de la A-5 (Madrid); mayo de 2019)



Figura 3. Soldado de las barras de la losa (Asistencia técnica de las obras de rehabilitación del paso superior situado en el P.K. 45+300 de la A-5 (Madrid); mayo de 2019)

2.2 Impermeabilización mediante poliurea

La poliurea proyectada es un elastómero de dos componentes que proporciona un recubrimiento continuo impermeabilizante sin juntas ni solapes con capacidad para adaptarse a geometrías particulares. Destaca la rápida reacción que experimenta la poliurea al ser aplicada, pudiendo ser transitada y garantizando las propiedades de impermeabilización en menos de 3 horas. Esta membrana impermeabilizante

alcanza sus condiciones óptimas transcurridas aproximadamente 24 horas desde su aplicación.

Para su aplicación, el sistema con membrana de poliurea requiere una preparación elevada del soporte en lo que se refiere a regularidad superficial. A este respecto, la cara superior del tablero que queda al descubierto tras el fresado presenta siempre numerosas irregularidades, por lo que no se considera un soporte adecuado para la aplicación directa del sistema. Asimismo, si sobre la superficie del tablero se ejecuta un recrecido de hormigón y éste presenta un acabado con irregularidades, dicha superficie tampoco se considera apta como soporte.

Como ejemplo, en las *obras de rehabilitación del paso superior situado en el P.K. 45+300 de la A-5 (Madrid)*, estaba previsto aplicar una membrana de poliurea sobre un recrecido de hormigón UHPCFR (Ultra High Performance Concrete Fiber Reinforced), dispuesto como refuerzo estructural del tablero. El acabado superficial de este recrecido presentaba numerosas coqueas, desniveles y fisuras por retracción, por lo que no tenía las características idóneas de regularidad (Ver Figura 4).



Figura 4. Acabado superficial del recrecido de hormigón UHPCFR (Asistencia técnica de las obras de rehabilitación del paso superior situado en el P.K. 45+300 de la A-5 (Madrid), mayo de 2019)

Por todo ello, se llevaron a cabo una serie de actuaciones para corregir las deficiencias detectadas. En primer lugar, se regularizaron con mortero de reparación estructural R4 las zonas de coqueas y desniveles. A continuación, se rellenaron las fisuras mediante el vertido de mortero epoxi fluido (Ver Figura 5). Por último, se extendió una capa de aproximadamente 5 mm de mortero autonivelante. Tras su fraguado se

realizó un proceso de lijado mediante diamantado para conseguir una superficie de propiedades óptimas para recibir la impermeabilización de poliurea.



Figura 5. Sellado de fisuras en el recrecido de hormigón UHPCFR (Asistencia técnica de las obras de rehabilitación del paso superior situado en el P.K. 45+300 de la A-5 (Madrid), mayo de 2019)

Como ejemplo alternativo, en las *obras de rehabilitación del puente de Los Franceses (Madrid)*, se había previsto aplicar la impermeabilización de poliurea sobre un recrecido de hormigón ligero HNE-15 ejecutado sobre el tablero para reducir la carga muerta de la estructura. Sin embargo, el acabado superficial del recrecido presentaba irregularidades por la presencia de los gránulos de arcilla expandida, característicos del hormigón ligero. Para regularizar dicha superficie se ejecutó una capa de 5 cm, considerando este espesor para evitar la fisuración por retracción que se generaría al ejecutar la capa con un espesor inferior (Ver Figura 6). Así pues, primeramente, es fundamental disponer de un soporte uniforme, estable y sin irregularidades.



Figura 6. Acabado superficial del hormigón ligero. (Asistencia técnica de las obras de rehabilitación del puente de Los Franceses (Madrid); septiembre de 2017)

Otro aspecto importante es la limpieza superficial del soporte, de forma que no existan partes mal adheridas y sustancias que pudieran

afectar a la adherencia de la membrana de poliurea. Por último, es esencial controlar la humedad superficial del soporte, debiendo tomar un valor inferior al 5%.

En la aplicación del sistema de membrana de poliurea intervienen las siguientes capas:

1. Imprimación con resina epoxi bicomponente y espolvoreo con arena sílice seca.

La capa de imprimación se aplica con rodillo y tiene como función incrementar la adherencia de la membrana de poliurea al soporte.

2. Membrana de poliuretano bicomponente

La membrana se aplica por vía proyectada en caliente, dejando transcurrir entre 14 y 16 horas desde la aplicación de la imprimación.

3. Capa de adherencia para aglomerado asfáltico y espolvoreo con arena sílice seca.

Esta última capa proporciona protección a la membrana de impermeabilización frente a la circulación de la maquinaria, y también proporciona la adherencia necesaria para recibir el riego de la repavimentación posterior.

Por otra parte, es posible disponer la poliurea quedando expuesta a la intemperie, siempre y cuando esté debidamente protegida frente a la acción de los rayos ultravioleta. Como ejemplo de aplicación, en las *obras de rehabilitación del puente de Los Franceses (Madrid)*, (Ver Figura 7) en las zonas no transitables en las que el sistema de impermeabilización quedaba al descubierto, fue necesario aplicar un tratamiento protector a base de poliuretano, con elevada resistencia a los rayos ultravioleta. De esta manera, se dota al sistema mayor durabilidad y estabilidad de color, y una alta resistencia a los cambios de temperatura y a la intemperie.

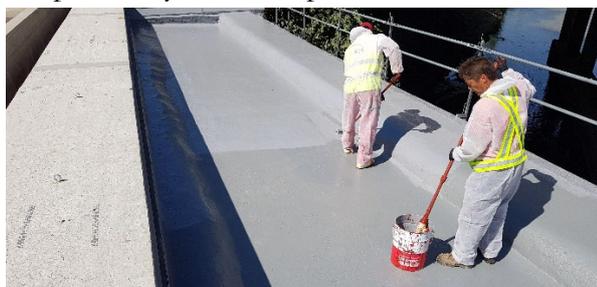


Figura 7. Aplicación de capa de protección de poliuretano alifático (Asistencia técnica de las obras de rehabilitación del puente de Los Franceses (Madrid), septiembre de 2017)

Por otro lado, si se dispone poliurea expuesta a la intemperie en una zona peatonal se deben aplicar sobre la membrana de poliurea dos capas de acabado de poliuretano alifático interponiendo entre ellas un espolvoreo con arena sílice seca para crear una superficie antideslizante.

Además de sus características como impermeabilizante, la membrana de poliurea es un buen aislante térmico. Ello permite proteger elementos sensibles al calor, como por ejemplo los refuerzos de fibra de carbono en tableros frente al calor generado con la repavimentación posterior de aglomerado asfáltico.

De forma directa la fibra de carbono no se ve afectada por las altas temperaturas. Las temperaturas elevadas afectan a la resina epoxi de adhesión de las láminas de fibra de carbono. En particular, cuando se supera la temperatura de transición vítrea (T_g), la matriz polimérica de la resina experimenta una sensible reducción de la capacidad resistente, esencial para la inmovilización y correcta disposición de los laminados de fibra de carbono. Como dato, en la puesta en obra del aglomerado asfáltico, a ejecutar posteriormente a la instalación del refuerzo, se alcanzan temperaturas del orden de 150°C , lo que condiciona la necesidad de proteger térmicamente el refuerzo de fibras.

Un ejemplo de esta protección se ejecutó en las *obras de rehabilitación de los dos puentes de O'Donnell (Madrid)*, de tipología losa aligerada. En este caso, se instalaron láminas de fibras de carbono a ambos lados de cada poste del nuevo pretel a disponer, como refuerzo de la sección del tablero frente a la transmisión de esfuerzos, en caso de impacto (Ver Figura 8). Posteriormente, se aplicó la impermeabilización de poliurea en la zona de refuerzo, consiguiendo un doble objetivo: Por un lado, se protegió el laminado de fibra de carbono frente al calor de la repavimentación. Por otro lado, se impermeabilizó la zona del refuerzo en la que se había eliminado la impermeabilización existente para la instalación directa de los laminados de fibra de carbono sobre el tablero.



Figura 8. Impermeabilización de refuerzos de fibra de carbono (Asistencia técnica de las obras de rehabilitación de los puentes de O'Donnell (Madrid); agosto 2018)

En resumen, la membrana de poliurea es un sistema de altas prestaciones al conformar una película continua impermeabilizante con capacidad para adaptarse a geometrías particulares. Sin embargo, su aplicación requiere una preparación elevada del soporte en términos de regularidad superficial, limpieza y humedad. Por último, destacar que este sistema presenta la propiedad adicional de aislante térmico, lo que permite proteger elementos sensibles al calor, como son los refuerzos de fibra de carbono.

2.3 Impermeabilización mediante lámina asfáltica

Las láminas de betún modificado mejoran sustancialmente al resto de másticos bituminosos, aportando unas prestaciones muy superiores en comportamiento a altas y bajas temperaturas, elasticidad y resistencia al envejecimiento.

La lámina asfáltica presenta una gran compatibilidad con el soporte de hormigón, sin requerir las condiciones de regularidad superficial tan exigentes que demanda la impermeabilización mediante poliurea, pudiendo admitir una cierta rugosidad. Ello hace factible instalar la lámina asfáltica directamente sobre la cara superior del tablero que se descubre por fresado del pavimento, siempre y cuando no existan irregularidades importantes, materiales mal adheridos al soporte y cualquier sustancia que perjudique a la adherencia de la lámina. Como ejemplo de aplicación, el sistema de impermeabilización mediante lámina asfáltica se

ejecutó en las *obras de rehabilitación del puente de la Paz (Madrid)* (Ver Figura 9).



Figura 9. Impermeabilización mediante lámina asfáltica (Asistencia técnica de las obras de rehabilitación del puente de la Paz (Madrid); noviembre de 2017)

En otras ocasiones, se ha instalado la lámina asfáltica sobre un recrecido de hormigón ligero que se ejecuta sobre el tablero para reducir la carga permanente de la estructura. Un ejemplo de ello, se llevó a cabo en las *obras de rehabilitación del puente de la Avenida del Mediterráneo (Madrid)* (Ver Figura 10). En este caso, la lámina asfáltica sí admitió las irregularidades propias de los gránulos de arcilla expandida del hormigón ligero, a diferencia del ejemplo práctico de aplicación de la poliurea sobre un recrecido de hormigón ligero que se ha expuesto anteriormente (Ver Figura 6).



Figura 10. Impermeabilización del tablero mediante lámina asfáltica (Asistencia técnica de las obras de rehabilitación del puente de la Avenida del Mediterráneo (Madrid); noviembre 2017)

En la instalación del sistema de lámina asfáltica intervienen las siguientes capas:

1. Imprimación con emulsión asfáltica: Tiene como objetivo garantizar la correcta adherencia entre la lámina elástica y el soporte.
2. Lámina impermeabilizante de betún elastomérico:

Su puesta en obra se materializa mediante soldadura con soplete aplicado en el film

termofusible de la cara interior, quedando en contacto con la imprimación.

A diferencia de la membrana continua de poliurea, la impermeabilización mediante lámina asfáltica se materializa a partir de la adhesión térmica de laminados discretos. Por este motivo, el nivel de prestaciones del sistema depende principalmente de la calidad de la ejecución. En particular, los detalles a cuidar son los solapes entre laminados, los encuentros con las juntas de dilatación del tablero y los sumideros, y los encuentros con paramentos verticales ante la presencia de bordillos o zócalos existentes.

En cuanto al solape, la disposición de los laminados se ha de realizar en pendiente ascendente, de forma que cada hilera solape sobre la anterior. Así, se evita la penetración de agua a través del solape, pues la filtración en pendiente descendente dejará siempre detrás el solape (Ver Figura 10). Además de ello, es fundamental aplicar calor en toda la longitud de los solapes para garantizar la estanqueidad del conjunto de laminados discretos.

Otro aspecto importante es la materialización del encuentro de los laminados con las juntas de dilatación del tablero en aras de dar continuidad al sistema de impermeabilización y evitar así las usuales filtraciones a través de las juntas. Una solución adecuada que da continuidad al sistema se observa en la Figura 11. Consiste en la ejecución de un fuelle con la lámina asfáltica del tablero.



Figura 11. Encuentro de la impermeabilización del con la junta de dilatación (Asistencia técnica de las obras de rehabilitación del puente de la Avenida del Mediterráneo (Madrid); noviembre 2017)

Además de ello, es importante dar continuidad al sistema de impermeabilización en todo el ancho de la plataforma incluyendo las

aceras, pues se tiende a pensar que la impermeabilización solo abarca el ancho de la calzada, llegando a rematar la lámina asfáltica en el bordillo de la acera o zócalo del pretil. Bajo esta premisa, en ocasiones se observa que tanto la junta del bordillo como la propia acera no están impermeabilizados constituyendo así zonas de penetración de agua hacia el tablero. Sin embargo, se puede dar continuidad al sistema sin demoler el recrecido de la acera, instalando la lámina debajo del bordillo, tal y como se observa en la Figura 12. En esta solución, la junta entre el bordillo y la acera queda completamente impermeabilizada.



Figura 12. Impermeabilización de la acera mediante lámina asfáltica (Asistencia técnica de las obras de rehabilitación del puente de la Avenida del Mediterráneo (Madrid); noviembre 2017)

En resumen, la impermeabilización mediante lámina asfáltica presenta una gran compatibilidad con el soporte de hormigón, sin requerir una preparación elevada del soporte. Asimismo, tiene una excelente adherencia con el pavimento bituminoso a extender posteriormente. No obstante, para su correcto funcionamiento resulta fundamental acometer una puesta en obra rigurosa.

2.4 Impermeabilización mediante mortero bituminoso

Se trata de un mortero constituido por la combinación íntima de un agregado de mineral fino, fibras y un ligante bituminoso en forma de emulsión asfáltica. El agregado mineral constituye el esqueleto que dota de espesor al tratamiento, confiriendo la cohesión necesaria a la mezcla de fibra y betún. Las fibras acrílicas crean una armadura en el mortero, mejorando su resistencia y su flexibilidad.

Al igual que la lámina asfáltica, la naturaleza bituminosa de este sistema hace que sea perfectamente compatible con la ejecución posterior del pavimento de aglomerado asfáltico. Así pues, no se requiere aplicar un tratamiento de protección previo a la repavimentación, tal y como requiere la membrana de poliurea. Asimismo, el mortero bituminoso también presenta una gran compatibilidad con el soporte de hormigón. Para su aplicación, el sistema puede admitir la rugosidad de la cara superior del tablero, que se descubre por fresado del pavimento. Tan solo, se necesita que el soporte se encuentre exento de irregularidades importantes y sustancias que disminuyan la adherencia del sistema al soporte, y de la acumulación de espesores excesivos de material que mermen la efectividad del sistema.

En la puesta en obra del mortero bituminoso intervienen las siguientes capas:

1. Imprimación con emulsión bituminosa.

Tiene como objetivo garantizar la correcta adherencia entre el mortero bituminoso y el soporte de hormigón. Su puesta en obra se realiza con cepillo.

2. Mortero bituminoso de impermeabilización.

El extendido de mortero bituminoso se realiza mediante rastra de goma, lo que puede hacer mejorar la regularización del propio soporte.

Tras su aplicación se respeta un periodo entre 24 y 48 horas, para el curado y secado del sistema antes de recibir el pavimento.

A modo de ejemplo, este sistema se aplicó en las *obras de rehabilitación de la estructura sobre el arroyo del Puerto del Pico (Ávila)*. (Ver Figura 13). En este caso, dada la irregularidad que existía en el tablero tras el fresado fue necesario realizar una regularización parcial de la estructura, con el fin de evitar un espesor excesivo de la impermeabilización.



Figura 13. Impermeabilización del tablero mediante mortero bituminoso. (Asistencia técnica de las obras de rehabilitación de la estructura sobre el arroyo del Puerto del Pico (Ávila); octubre de 2019)

3. Sistemas de impermeabilización complementarios

Además de la impermeabilización del tablero es importante aplicar un tratamiento de impermeabilización a otros elementos de la estructura expuestos a la acción del agua como por ejemplo el zócalo del pretil, los bordes del tablero, las juntas de dilatación del tablero y los paramentos de pilas y estribos.

A diferencia del tablero, la impermeabilización de estos elementos se realiza con un tratamiento superficial exterior, por lo que deben tener elevada resistencia a la intemperie y un buen acabado estético.

Seguidamente, se recogen los sistemas empleados en estos elementos comentando experiencias prácticas de su aplicación.

3.1 Impermeabilización mediante corcho proyectado

El corcho proyectado es un material constituido por corcho molido de alta calidad y resinas que una vez aplicado, conforma un recubrimiento continuo impermeabilizante sin juntas ni solapes. Se trata de un sistema que se adapta a geometrías particulares, ofreciendo a su vez una amplia gama de colores en su presentación.

Para su aplicación, el soporte debe estar limpio, seco y saneado. Como primera capa se aplica una imprimación para garantizar la adherencia del corcho al soporte, ya sea hormigón o metal. Seguidamente, se aplica el

corcho mediante pistola en dos capas, obteniendo espesores medios de 2-3 mm.

A modo de ejemplo, en las *obras de rehabilitación de la estructura sobre el arroyo del Puerto del Pico (Ávila)*, se aplicó corcho proyectado en la superficie de las vigas de borde (Ver Figura 14) y del zócalo del nuevo pretil. El deterioro que presentaban las vigas de borde requirió ejecutar una limpieza superficial previa mediante chorreado con arena. Dado que para la aplicación del corcho se necesita que el soporte esté seco, se controló la previsión de lluvia y nieve, al ser fenómenos propios del emplazamiento montañoso en el que se ubica la estructura.

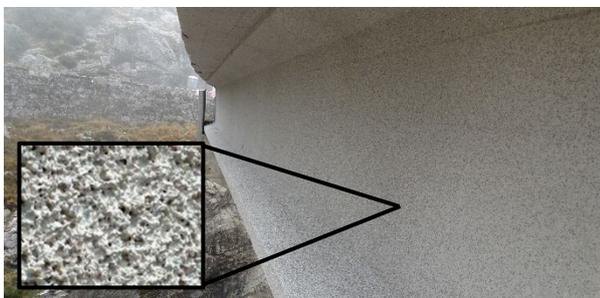


Figura 14. Corcho proyectado en vigas de borde. (Asistencia técnica de las obras de rehabilitación de la estructura sobre el arroyo del Puerto del Pico (Ávila); octubre de 2019)

Otro ejemplo de aplicación se encuentra en las *obras de rehabilitación de los apoyos a media madera del puente de la Avenida del Mediterráneo (Madrid)*. En esta estructura se detectaron deterioros graves con afección a la durabilidad en las juntas a media madera, por continuas filtraciones a través de dichas juntas. Como reparación, tras el izado de cada vano isostático entre juntas, se acometió el saneo, reparación y refuerzo mediante fibra de carbono en la ménsula de las juntas. Para proteger el refuerzo frente a las filtraciones de la junta, se aplicó corcho proyectado en combinación con una capa previa de mortero cementoso impermeabilizante (Ver Figura 15).



Figura 15. Corcho proyectado en ménsulas de juntas a media madera. (Asistencia técnica de las obras de rehabilitación de los apoyos a media madera del puente de la Avenida del Mediterráneo (Madrid); septiembre de 2017)

Como ejemplo particular de adaptación a geometrías particulares, en la Figura 16, se muestra la aplicación de corcho en un pretil de hormigón con objeto de proteger su superficie frente a la proyección y acumulación de nieve durante los trabajos de vialidad invernal.



Figura 16. Aplicación de corcho proyectado en sistema de contención. (Asistencia técnica de las obras de rehabilitación del puente en el P.K. 90+720 de la autovía A-1 en Madrid; marzo de 2017)

3.2 Impermeabilización mediante mortero cementoso

El mortero impermeabilizante se confecciona a base de cementos, áridos seleccionados de granulometría fina, aditivos especiales y polímeros sintéticos. Su aplicación se realiza mediante llana o rodillo (en zonas localizadas) o por proyección (en zonas extensas). Su naturaleza cementosa, hace que este sistema sea apropiado para paramentos que requieren un acabado estético similar al que ofrece el hormigón.

Como ejemplo, este mortero se puede emplear para la protección de la superficie del zócalo de hormigón de un nuevo pretil. Con el mortero, además de impermeabilizar el zócalo,

se protege indirectamente también el tablero inferior sobre el que se materializa, el cual ha quedado desprovisto de la impermeabilización anteriormente existente en esta zona por la ejecución del zócalo con armadura anclada al tablero.

Por otra parte, el mortero impermeabilizante constituye una buena solución para la protección de refuerzos de fibra de carbono, tal y como se observa en la Figura 17, en referencia a las *obras de reparación y refuerzo de las vigas impactadas en la estructura de la N-120 en el P.K 311+200 (León)*. Se trata de una solución adecuada pues el mortero presenta una gran adherencia a la fibra de carbono, en su aplicación.



Figura 17. Mortero impermeabilizante aplicado en vigas. (Asistencia técnica de las obras de reparación y refuerzo de las vigas impactadas en la estructura de la N-120 en el P.K. 311+200 (León); julio de 2019)

4. Conclusiones

Una de las patologías con afección a la durabilidad que más se identifican en los puentes existentes es el desarrollo de filtraciones a través del tablero asociadas una inadecuada impermeabilización del mismo. Por ello, la mejora de la impermeabilización de los puentes existentes es una de las actuaciones que más se realizan en materia de conservación de estructuras.

La calidad de un sistema de impermeabilización en términos de eficacia es la conjunción de su diseño en fase de proyecto y de su adecuada puesta en obra en fase de ejecución, siendo este último el aspecto más importante.

A nivel de proyecto, a la hora de elegir qué sistema de impermeabilización resulta ser el más adecuado, no existe una única opción entre los sistemas expuestos que predomine respecto al resto en todos los casos: El sistema de impermeabilización de mejores prestaciones del mercado no siempre es el más adecuado. Cada puente es un caso singular y como tal debe ser estudiado analizando conjuntamente el nivel de prestaciones de impermeabilización requerido, la preparación superficial, las características de la estructura, la compatibilidad con el soporte y el coste económico de la actuación.

A nivel de ejecución, resulta fundamental en primer lugar, realizar una correcta preparación superficial del soporte dotando al mismo de las condiciones que demanda cada sistema de impermeabilización para garantizar su adherencia. Respecto a su puesta en obra, es esencial implantar el sistema creando un recubrimiento continuo impermeabilizante, cuidando rigurosamente el detalle de los encuentros con las juntas de dilatación del tablero y los sumideros.

Como complemento a la impermeabilización del tablero, se considera importante aplicar tratamientos de impermeabilización a otros elementos del puente que quedan expuestos a la acción directa del agua, como son el sistema de contención, las vigas de borde, canto del tablero, entre otros.

Agradecimientos

Al Departamento de Estructuras de LRA Infraestructures Consulting S.L., por su incansable esfuerzo, dedicación y entrega con la que siempre trabaja como asistencia técnica en las obras de rehabilitación en las que participa.